

## 기존 건물 철거 및 신축 공사에 따른 지하철터널 거동특성 연구

# A Study on the Behaviour of Existing Subway Tunnel due to Demolition of Old Buildings and Construction of New Buildings

정 지 승<sup>1)</sup> · 이 규 영<sup>1)</sup> · 김 용 수<sup>2)</sup> · 이 선 길<sup>†</sup>

Jeeseung Chung · Kyuyoung Lee · Yongsoo Kim · Sungil Lee

Received: May 12<sup>th</sup>, 2014; Revised: June 10<sup>th</sup>, 2014; Accepted: July 8<sup>th</sup>, 2014

**ABSTRACT** : Recent increasing of redevelopment project causes construction of new buildings after demolition of old buildings. However, the researches have been largely confirmed to analysis of behaviour characteristics of existing subway tunnel due to adjacent excavation which constructing new building so far. Accordingly, The OO Building which will be built after demolishing existing parking lot is selected as a subject of study. And the purpose of this study is to analyze the effects on existing subway tunnel due to loading and unloading caused by demolition of upper buildings. The numerical analysis was performed by using the MIDAS/GTS program. Two cases for the numerical analysis were analyzed. The one is considering demolition of old buildings and the other is not considering it. This study is to analyze the effect on existing subway tunnel caused by demolition of upper building by analyzing numerical analysis results for tunnel displacement and lining stress. It was analyzed that the effects of considering the demolition of old buildings are larger than those of no considering it.

**Keywords** : Demolition of old building, Adjacent excavation, Subway tunnel, Loading, Unloading

**요 지** : 최근 도심재개발사업의 증가로 기존 건물 철거 후 신축공사를 하는 사례가 증가하는 추세이다. 그러나 현재까지의 연구는 신축공사에 따른 인접굴착이 지하철 터널에 미치는 영향 검토에 국한되어 왔다. 이에 따라 기존 주차장 건물을 철거한 후 신축공사가 이루어지는 OO건물 신축사업을 연구대상으로 선정하여 상부 건물 철거 등으로 인한 하중제하 및 하중재하에 따른 지하철 터널에 미치는 영향 검토를 수행하였다. 수치해석은 기존 건물 철거를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대해 MIDAS/GTS를 사용하여 3차원 수치해석을 수행하고 터널 변위 및 부재력 결과 분석을 통해 기존 건물 철거가 지하철 터널에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과 기존 건물 철거를 고려하는 경우가 고려하지 않는 경우보다 지하철 터널에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

**주요어** : 기존 건물 철거, 인접굴착, 지하철 터널, 하중제하, 하중재하

## 1. 서 론

빠르고 편리한 교통수단인 지하철은 현재 거대한 지하 네트워크를 형성하고 있고 지하철 노선 중심의 역세권 개발이 빈번하게 이루어지고 있으며 최근에는 도심재개발사업이 증가하는 추세이다. 그에 따라 기존 지하철 터널에 인접한 굴착공사가 많이 이루어지고 있으며 도심지 토지부족 및 토지가격 상승 등으로 인한 토지활용의 극대화를 위해 대규모 굴착공사가 증가하는 추세이다.

기존 지하철 터널과 인접한 굴착공사는 주변 지반의 응력 평형상태를 깨뜨려 기존 터널 구조물에 위대한 영향을 미칠 수 있으며 지형, 지질조건, 기존 구조물의 구조형식 및 상태, 신축공사의 규모 및 시공방법 등 다양한 조건에 따라

미치는 영향이 다르다. 또한 대부분의 경우 기존 터널을 직접 보강하기가 곤란하므로 기존 터널 안정성 확보를 위한 이격거리 확보 및 주변 지반 보강방안 등에 대한 연구활동이 활발하게 이루어져 왔다.

Yoo & Song(2006)은 기존 터널에 인접한 신설 터널 시공이 기존 터널 라이닝에 미치는 영향을 분석하였고, Lee et al.(2009)과 Lee & Lee(2010)는 근접굴착에 따른 기존 터널 거동에 대한 연구를 수행하였으며 Byun et al.(2011)은 지하철과 인접한 굴착사례 분석을 수행하였다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 최근 도심재개발사업이 증가함에 따라 남은 구조물을 철거하고 신축공사를 하는 사례가 증가하는 추세이나 상부 구조물의 철거를 고려한 기존 터널 거동특성 연구사례는 거의 없는 실정이다.

1) Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University

2) Department of Tunnel and Geotechnical Engineering, Hakyong Engineering

† Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University (Corresponding Author : lsg@smrt.co.kr)

따라서 본 논문에서는 기존 주차장 건물을 철거한 후 신축건물 공사가 이루어지는 OO건물 신축사업을 연구 대상 사례로 선정하고 3차원 수치해석을 통해 상부 구조물의 철거 및 신축 공사가 기존 터널에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 하중변화에 따른 지반의 변형거동

지반의 변형은 지반의 체적 변화라 말할 수 있는데 상재하중이 감소하면 지반의 체적은 증가하고 상재하중이 증가하면 지반의 체적은 감소한다. Fig. 1은 지반의 응력-변형률 곡선을 나타낸 것으로서 하중변화에 따른 지반의 변형 특성을 파악할 수 있다. 상재하중이 감소하면 응력-변형률 상태는 초기조건(A점)에서 a경로를 따라 이동하여 B점 상태가 된다. 반면에 구조물 시공 등으로 상재하중이 증가하면 응력-변형률 상태는 B점 상태에서 b경로를 따라 이동하여 A점을 거쳐 C점 상태가 된다. 따라서 기존 건물의 철거

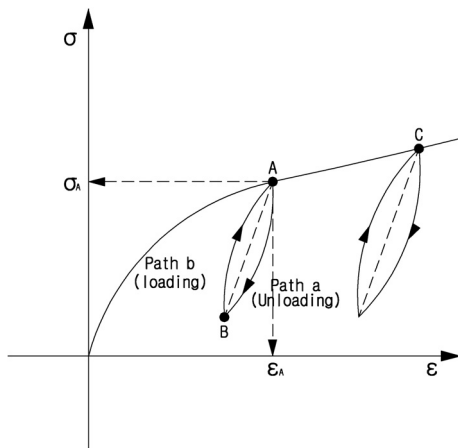


Fig. 1. Stress-strain curve (이상덕, 2013)

나 지반의 굴착 등 상재하중이 감소하는 경우 하부의 지반에서는 상향변위가 발생하고 되메움이나 신축 구조물 시공 등 상재하중이 증가하는 경우에는 하향변위가 발생한다(이상덕, 2013).

이로 인하여 하부 인접한 지하철 터널에 영향을 주며 상재하중이 감소하는 경우 상향변위가 발생하고 상재하중이 증가하는 경우 하향변위가 발생하며 두 경우 모두 일반적으로 부재력이 증가한다. 따라서 이러한 거동을 고려한 정밀한 안정성 검토가 필요하다.

## 3. 연구대상 구조물 현황

본 논문의 연구대상인 OO건물 신축사업은 토지활용 극대화를 위해 주로 주차장으로 활용하던 기존 건물(A동 지하 3층, B동 지상 3층)을 철거하고 건물(지하 4층, 지상 20층)을 신축하는 사업이다. 그러나 사업부지 하부에는 현재 운영 중인 지하철 터널이 위치하고 있어 철거 및 신축공사에 따른 지하철 터널의 안전성 저하가 우려된다.

Fig. 2는 기존 건물과 신축 건물의 현황 및 흠막이 가시설 계획 현황을 나타내고 있다. 흠막이 공법은 기존 구조물 철거 시에는 슛크리트와 록볼트를 적용하고 신축 건물 공사 시에는 벽체형식으로 C.I.P 공법을 적용하였다. 또한 신축 건물 지하층 시공방법으로 Top Down 공법이 적용됨에 따라 별도의 지보재 없이 지하층 슬래브가 직접 흠막이 벽체를 지지하는 것으로 계획하였다.

사업구간의 기반암은 흑운모 호상편마암으로 구성되어 있으며 지표 부근부터 연·경암이 출현하고 지하철 터널 및 신축 건물 기초부 모두 경암에 위치하는 등 지반조건은 매우 양호한 것으로 조사되었다.

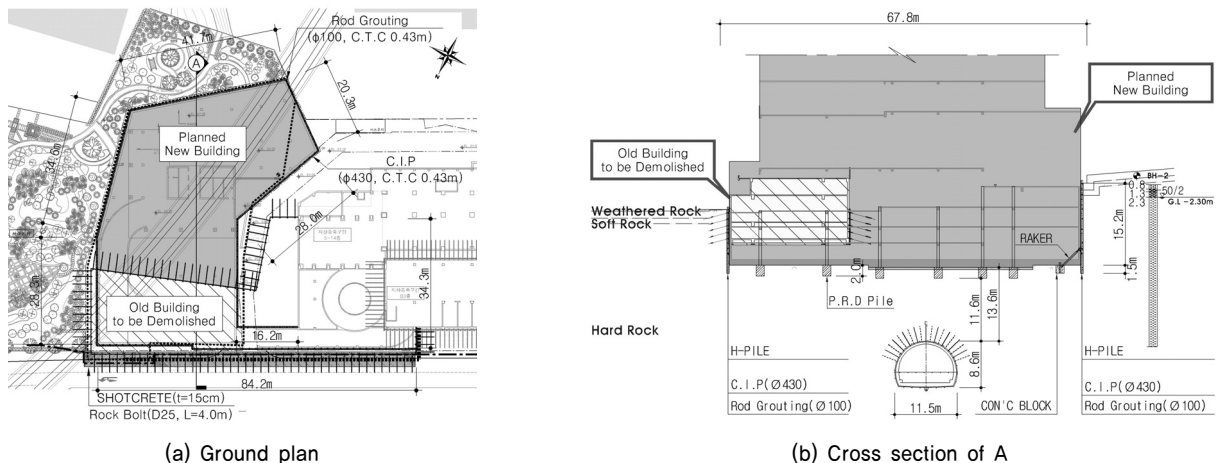


Fig. 2. The plan of earth retaining wall

## 4. 수치해석 방법

### 4.1 해석 개요

본 논문에서는 기존 건물 철거 및 신축공사가 지하철 터널에 미치는 영향 파악을 위해 수치해석을 수행하였다. 수치해석은 유한요소법(FEM) 프로그램인 MIDAS/GTS를 사용하였으며 복잡한 형상의 지형 및 지질, 건물 형상 및 하중조건 등을 고려하기 위해 3차원 수치해석을 수행하였다. 또한 기존 건물 철거가 지하철 터널에 미치는 영향 평가를 위해 기존 건물 철거를 고려한 경우(Case-1)와 고려하지 않은 경우(Case-2)에 대한 해석을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

### 4.2 수치해석 모델

지하철 터널의 형상은 준공도를 기준으로 PD-4A(R=400)

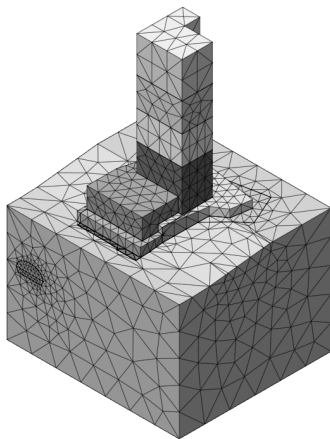


Fig. 3. Simulated model in MIDAS/GTS

의 표준단면 및 표준지보공도를 적용하였다. 수치해석 모델링 시 지하철 시공방법 및 시공순서를 동일하게 모사하고 기존 건물 철거, 퇴매움, 신축 건물 시공 등 적용공법의 특성과 실제 시공단계를 모사하였다. 또한 지반에 전달되는 건물하중은 건물의 구조적 안정성 평가를 위한 구조계산 결과를 반영하였다. 수치해석에 적용된 해석요소망은 Fig. 3과 같다. 지반은 4절점의 고체요소를 사용하였으며 구성모델은 Mohr-Coulomb 탄소성 모델을 적용하였다. 지하철 터널 슛크리트 및 콘크리트 라이닝은 Plate 요소와 탄성모델을 적용하였으며 록볼트는 Embedded Truss 요소와 탄성모델을 적용하였다.

수치해석은 실제 시공단계를 반영하였으며 기존 건물을 고려한 Case-1의 경우 기존 건물의 철거단계를 모사하였고 Case-2의 경우에는 기존 건물을 고려하지 않았다. 신축 건물 시공단계는 Case-1, 2 모두 지하 1~4층 시공단계(단계별 1층씩 총 4단계)와 지상 1~20층 시공단계(단계별 5층씩 총 4단계)로 나누어 모사하였다. 따라서 검토 Case별 하중조건은 Fig. 4와 같이 Case-1의 경우 기존 건물하중( $W_1$ ,  $W_2$ ) 및 신축 건물하중( $W_3$ )을 모두 고려하였고 Case-2의 경우 신축 건물하중( $W_3$ )만 고려하여 수치해석을 수행하였다. 그러나 Case-2에서 기존 건물을 고려하지 않는 경우 Case-1의 기존 건물 지하층이 차지하고 있는 부피만큼 원지반이 차지하는 조건이 되는데 그 결과 지하철 터널 상부의 초기 하중조건이 상이하게 된다. 따라서 Case-2에서는 Case-1의 기존 건물 지하층이 차지하는 지반에 대해 기존 건물 하중과 동일한 조건이 되도록( $W_4 = W_1$ ) 지반의 단위중량을 수정하여 적용하였다.

또한 수치해석에 반영한 지반정수는 지하철 건설 당시 평가된 값을 적용하였으며 그 값은 Table 1과 같다.

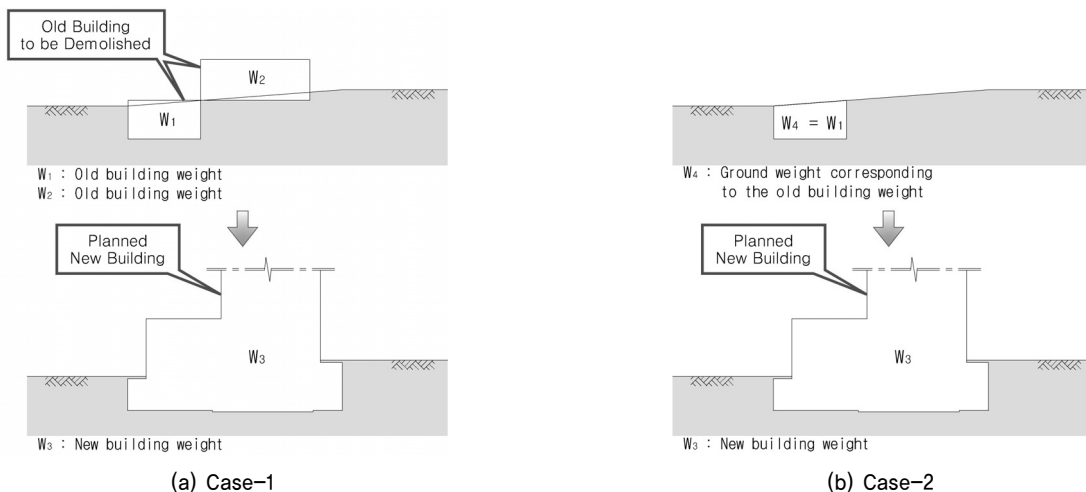


Fig. 4. Load condition of Case

Table 1. Input parameters of ground

Classification	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	Friction Angle (°)	Elastic modulus (MPa)	Poison's ratio	Depth (m)
Soil	19.0	20	30	20	0.34	-
Weathered Soil	19.1	100	30	50	0.34	-
Weathered Rock	22.2	250	35	250	0.32	0.0 ~ 1.3
Soft Rock	24.7	1,000	40	1,000	0.28	1.3 ~ 2.3
Hard Rock	26.2	2,000	45	3,000	0.22	2.3 ~

Table 2. Result of tunnel crown's displacement

Construction Stage	Tunnel crown's Displacement (mm)					
	Section A		Section B		Section C	
	Case-1	Case-2	Case-1	Case-2	Case-1	Case-2
Old buildings demolition	0.22	0.00	0.21	0.00	0.07	0.00
Basement construction completion	1.31	1.07	2.17	1.98	1.61	1.57
Construction completion	0.39	0.11	0.40	0.17	1.03	0.93

## 5. 수치해석 결과 분석

### 5.1 분석 개요

시공 조건별 영향평가를 위해 수치해석 결과는 터널 콘크리트 라이닝 변위와 부재력 발생경향을 분석하였으며 Fig. 5와 같이 단면 A, B, C에 대해 분석을 수행하였다. 단면 A는 기존 건물 철거영향을 받는 위치이고 단면 B는 기존 건물 철거영향을 받으면서 신축 건물 고층부로 최대 하중을 받는 위치이며 단면 C는 기존 건물 철거영향을 거의 받지 않는 위치이다.

### 5.2 변위 발생경향 분석

Table 2와 Fig. 6은 시공단계별 터널 천단침하 발생경향을 나타낸 것으로 전반적으로 기존 건물 철거 및 신축 건물 지하층 시공단계에서는 상향변위가 발생하고 신축 건물 지

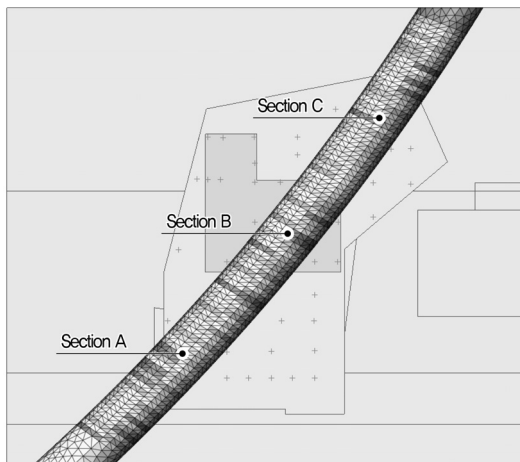


Fig. 5. Analysis section

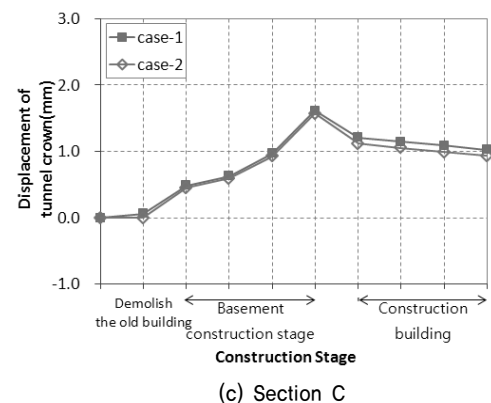
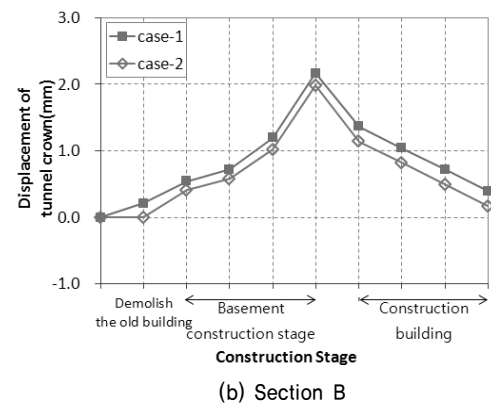
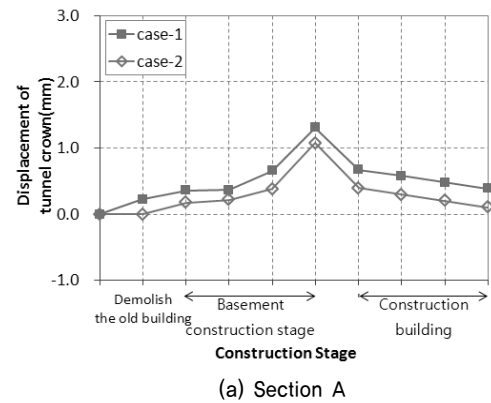
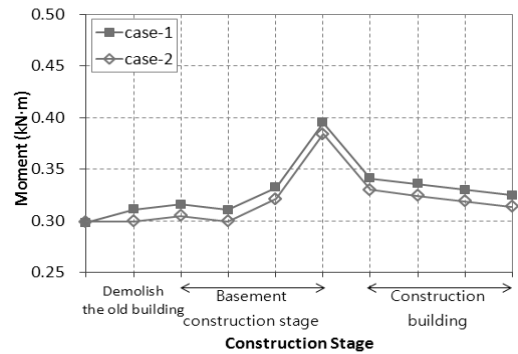


Fig. 6. The tendency of tunnel crown's displacement

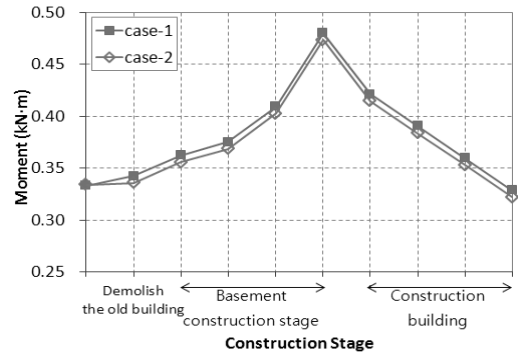
상층 시공단계에서는 하향변위가 발생하는 경향을 나타냈다. 특히 단면 A, B의 경우 기존 건물 철거를 고려한 경우(Case-1)가 철거를 고려하지 않은 경우(Case-2)에 비해 더 큰 폭의 변위 발생 경향을 나타냈다. 이는 단면 A, B의 경우 기존 건물 철거 영향을 직접 받는 구간으로 기존 건물 철거 단계에서 발생한 상향변위가 신축 건물 시공단계에서 누적되어 나타난 결과로 판단된다. 반면에 기존 건물 철거 영향을 받지 않는 단면 C의 경우 해석 조건별 천단침하가 거의 동일하게 나타났다. 여기서 최종 단계에서 천단침하가 상향인 원인은 철거 및 지하층 시공에 따른 감소된 기존 건물 및 굴착 지반 하중보다 추가되는 신축 건물 하중이 작기 때문인 것으로 판단된다.

### 5.3 부재력 발생경향 분석

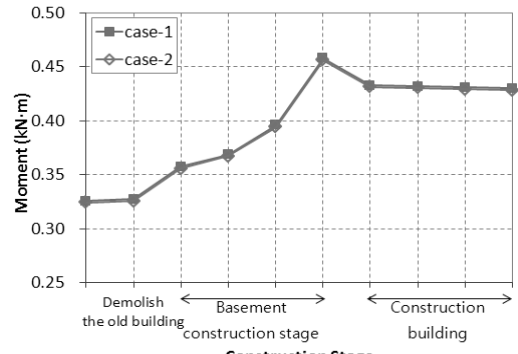
Table 3과 Fig. 7, Table 4와 Fig. 8은 각각 시공단계별 콘크리트 라이닝 모멘트와 축력 발생경향을 나타낸 것으로 전반적으로 기존 건물 철거 및 신축 건물 지하층 시공단계에서 부재력이 증가하다가 신축 건물 지상층 시공단계에서는 부재력이 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 기존 건물 철거 및 지하층 굴착 등에 의해 제거된 지반하중 대신에 신축 건물하중이 시공단계별로 증가하여 굴착 전 응력상태에 가깝게 회복된 결과로 판단된다. 또한 단면 A, B의 경우 기존 건물 철거가 고려된 경우(Case-1)가 고려하지 않은 경우(Case-2)에 비해 더 큰 부재력 변화를 나타내고 기존 건물 철거 영향을 받지 않는 단면 C의 경우 해석 조건별 거의 동일한 부재력 변화를 나타냈다. 이는 변위발생 경향과 마찬가지로 기존 건물 철거 영향을 직접 받는 단면 A, B의 경우 기존 건물 철거 시 발생한 부재력 증가가 신축 건물 시공단계에 누적되어 나타난 결과로 판단된다.



(a) Section A



(b) Section B



(c) Section C

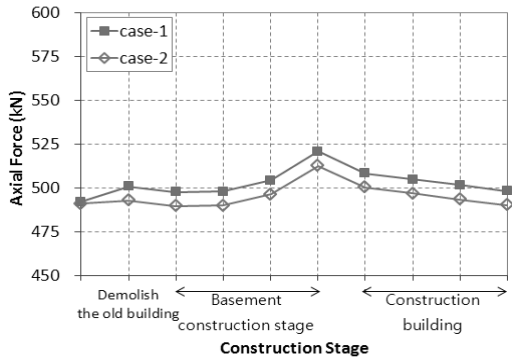
Fig. 7. The tendency of concrete lining's moment

Table 3. Result of moment

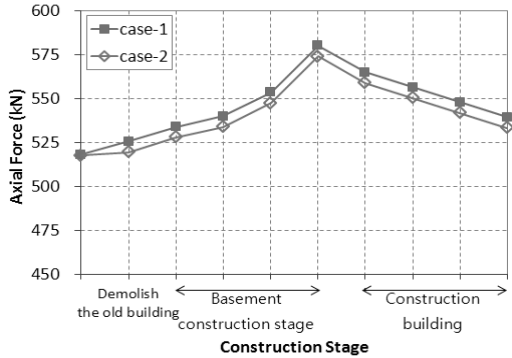
Construction Stage	Moment of concrete lining (kN·m)					
	Section A		Section B		Section C	
	Case-1	Case-2	Case-1	Case-2	Case-1	Case-2
Old buildings demolition	0.311	0.300	0.343	0.336	0.327	0.326
Basement construction completion	0.395	0.384	0.480	0.474	0.458	0.457
Construction completion	0.325	0.314	0.329	0.322	0.430	0.428

Table 4. Result of axial force

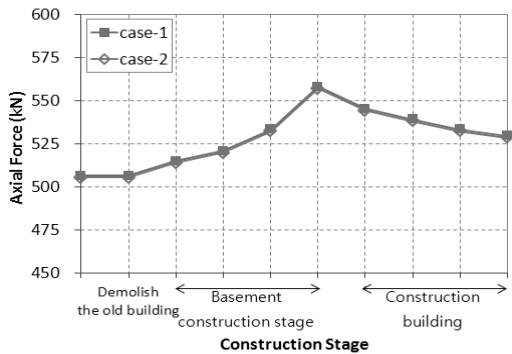
Construction Stage	Axial Force of concrete lining (kN)					
	Section A		Section B		Section C	
	Case-1	Case-2	Case-1	Case-2	Case-1	Case-2
Old buildings demolition	500.9	492.9	525.6	519.5	506.5	501.3
Basement construction completion	520.8	512.7	580.2	574.1	558.0	552.7
Construction completion	498.3	490.3	539.4	533.3	529.7	524.5



(a) Section A



(b) Section B



(c) Section C

Fig. 8. The tendency of concrete lining's axial force

## 6. 결 론

본 논문에서는 기존 건물 철거 및 신축공사에서 기존 건물 철거단계 고려 유무에 따른 지하철 터널에 미치는 영향 검토를 위해 3차원 유한요소 해석을 수행하였다. 그 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 기존 건물 철거로 상재하중이 감소하는 경우에는 지하철 터널은 상향변위가 발생하고 부재력 또한 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상재하중 감소에 따라 기존 건물

하부 지반의 응력해방이 상향변위와 부재력 증가로 나타난 결과로 판단된다.

- (2) 신축 건물 지하층 시공 시에는 기초부 지반하중 제거로 상향변위가 발생하고 부재력이 증가하였으나 지상층 시공 시에는 시공단계별로 건물 하중이 증가함에 따라 하향변위가 발생하고 부재력이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존 건물 철거 및 지하층 굴착 등에 의해 제거된 지반하중 대신에 신축 건물하중이 시공단계별로 증가하여 굴착 전 응력상태와 가깝게 회복된 결과로 판단된다.
- (3) 신축 건물 시공단계에서 기존 건물 철거를 고려한 경우 철거를 고려하지 않은 경우에 비해 변위 및 부재력의 변화폭이 더 크게 나타났다. 이는 철거단계에서 발생한 변위 및 부재력이 신축 건물 시공단계에 누적되어 나타난 결과로 판단된다.

본 논문에 인용된 사례의 경우는 지반조건이 경암으로 기존 건물 철거를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 변위 및 부재력 차이가 크지 않은 것으로 검토되었으나 기존 건물의 철거가 지반의 응력평형을 깨뜨려 지하철 터널에 영향을 미치며 기존 건물 철거 시 발생한 변위 및 부재력이 철거 후 진행되는 시공단계에 누적되어 기존 터널에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 기존 터널 상부에 인접하여 건물 철거가 계획된 경우 이를 고려한 영향 평가가 필요하며 특히 지반조건이 불량한 조건에서는 동일한 하중변화에 대해 변위 및 부재력 변화가 더 크게 발생할 것으로 판단된다.

## References

1. 이상덕 (2013), 터널역학, 씨아이알, pp. 712~717.
2. Byun, Y. S., Jung, K. S. and Chun, B. S. (2011), A case study on reinforcement method by excavation adjacent to the subway tunnel using numerical analysis, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 12, No. 9, pp. 5~11 (in Korean).
3. Lee, H. S., Kim, D. Y., Chun, B. S. and Jung, H. S. (2009), A study on the optimum range of reinforcement in tunneling adjacent to structures, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 11, No. 2, pp. 199~6211 (in Korean).
4. Lee, J. M. and Lee, S. D. (2010), Behavior of building lower part passage tunnel due to adjacent ground excavation, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 20, No. 5, pp. 369~377 (in Korean).
5. Yoo, C. S. and Song, A. R. (2006), Effects of tunnel construction on an existing tunnel lining, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 8, No. 4, pp. 307~324 (in Korean).